



**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y COMPUTACIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**"MÉTODOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS A LA
RECUPERACIÓN DE ORO EN EL PERÚ"**

**Presentado por:
Gian Carlo Peralta Vizquerra**

**Para optar el Grado Académico de Bachiller en:
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Orientador: José Manuel Cárdenas Medina

Arequipa, marzo del 2019

***"MÉTODOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS A LA
RECUPERACIÓN DE ORO EN EL PERÚ"***

***"METHODS AND TECHNOLOGIES APPLIED TO GOLD
RECOVERY IN PERU"***

DEDICATORIA

El presente está dedicado a mis padres Álvaro y Yolanda, ustedes que me apoyaron en este largo camino siendo ejemplo de que con esfuerzo todo es posible, gracias por sus enseñanzas que me permiten mejorar día a día. Espero estar a la altura de sus expectativas.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, que sin el nada de esto sería posible. A mi familia gracias a su apoyo y consejos me ayudan a seguir adelante. A mis amigos por lo gratos momentos dentro de nuestra vida académica. A los docentes, gracias por compartir sus experiencias y conocimientos en pro de nuestro crecimiento, del mismo modo a mi universidad por brindarme las herramientas necesarias para potenciar mis habilidades.

RESUMEN

Los estudios e investigaciones en nuevos métodos y tecnologías para la recuperación de oro se han visto en aumento en los últimos años, no solo por el tema de buscar una alta rentabilidad y productividad al momento de la recuperación, sino también para reducir daños ambientales por el empleo de químicos y mejorar el bienestar general de personas que las manejan directamente. Es así que este trabajo pretende abordar mediante una recopilación bibliográfica nuevos métodos y tecnologías aplicadas para la recuperación de oro en el Perú, ya que al ser nuestro país el sexto productor a nivel mundial, nos hemos visto afectado por temas de contaminación ambiental y problemas de salud en la población, y este no sólo es un problema que afecta a la minería artesanal e ilegal, también estos problemas se encuentran en mineras industriales.

PALABRAS CLAVE:

Recuperación de oro, minería artesanal, minería ilegal y minería industrial.

ABSTRACT

Studies and research into new methods and technologies for the recovery of gold have been increasing in recent years, not only because of the issue of seeking high profitability and productivity at the time of recovery, but also to reduce environmental damage by use of chemicals and improve the general welfare of people who handle them directly. this work aims to address through a bibliographic collection new methods and technologies applied to the recovery of gold in Peru, as being our country the sixth producer worldwide, we have been affected by environmental pollution issues and problems of health in the population, and this is not only a problem that affects artisanal and illegal mining, also these problems are found in industrial mining.

KEY WORDS

Gold recovery, artisanal mining, illegal mining and industrial mining.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	
AGRADECIMIENTOS	
RESUMEN	
PALABRAS CLAVE:.....	
ABSTRACT	
KEY WORDS.....	
ÍNDICE DE TABLAS.....	
1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Descripción del problema de investigación	2
1.1.1. Formulación del problema (interrogante principal).....	8
1.1.2. Sistematización del problema (interrogantes secundarias)	8
1.2. Objetivos de la investigación	9
1.2.1. Objetivo general.....	9
1.2.2. Objetivos Específicos.....	9
1.3. Justificación	9
1.3.1. Justificación Teórica - Práctica.....	9
1.3.2. Justificación personal.....	10
1.4. Delimitación del trabajo	10
1.4.1. Temático	11
1.4.2. Espacial.....	11
1.4.3. Temporal.....	11
2. CAPÍTULO II: REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1. Antecedentes	12
2.2. Marco conceptual	17
2.2.1. Industria minera formal en el Perú.....	18
2.2.2. Minas extractivas de Oro en Perú.....	19
2.2.3. Concepto Minería industrial	22
2.2.4. Minería informal	23
2.2.5. Métodos de extracción de oro	24
2.2.6. Nuevas tendencias e investigaciones en la recuperación del oro	28
2.2.6.1. Métodos sustitutos de la amalgamación de todo el mineral	28
2.2.7. Implicancias ambientales de la metalurgia del oro.....	31
2.2.7.1. Implicancias ambientales del cianuro.....	33
2.3. Mapa Mental.....	35
2.4. Hipótesis	35

2.5.	Hipótesis descriptiva:	35
2.6.	Hipótesis explicativa:.....	36
2.7.	Hipótesis tecnológica	36
3.	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	37
3.1.	Diseño de Investigación	37
3.2.	Tipo de Investigación	38
3.3.	Métodos De Investigación	38
3.4.	Levantamiento De Datos	39
3.5.	Análisis De Datos	39
3.6.	Matriz de Consistencia	41
4.	CAPÍTULO IV: DIAGNÓSTICO DE RESULTADOS	42
4.1.	Resultados	42
4.1.1.	Síntesis.....	43
	Tabla 8.....	44
4.1.2.	Elección del método de extracción	47
4.2.	Conclusiones.....	49
4.3.	Recomendaciones.....	51
5.	ANEXOS	52
	ANEXO 1	53
	ANEXO 2.....	54
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS/ 2004	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estimación de producción metálica fina acumulada al 2050, en millones.....	2
Tabla 2: Proyección a 10 años de las empresas mineras productoras de Oro	4
Tabla 3: Cadena de valor de la minería por el lado de la oferta	5
Tabla 4: Producción minera metálica	16
Tabla 5: Empresas productoras de oro y producción anual (gramos finos)	20
Tabla 6: Diseño de la información	37
Tabla 7: Matriz de consistencia	41
Tabla 8 Diez principales empresas Auríferas en Perú.....	44
Tabla 9: Resumen de metodologías	46
Tabla 10: Elección de método	48
Tabla 11: Diagrama de Gantt.....	53
Tabla 12: Presupuesto	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Participación empresas auríferas en el Perú.....	17
Figura 2: Mapa de yacimientos auríferos en el Perú	21
Figura 3: Destino de exportaciones de oro	22
Figura 4: Marco legal e institucional de la minería en el Perú	32
Figura 5: Mapa mental	35

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Los depósitos auríferos en el Perú permiten al país ubicarse en el puesto 2 de producción, proyectándose para el 2050 con una producción de 320 millones de toneladas finas. Utilizando distintos tipos de extracción, tanto legal como ilegal. (Chira Fernández, Ríos Moreno, Trelles Vásquez, & Villarreal Jaramillo, 2018)

La presente investigación se orienta principalmente en determinar los distintos tipos de extracción, así como los nuevos métodos de extracción, en especial para minimizar el impacto medioambiental, en especial para la minería que según OSINERMINING está clasificada por mencionar algunas, por tipos de actividad, naturaleza de sustancias, forma de yacimientos, método de explotación, y legalidad, punto en el cual nos detenemos, ya que es de importancia para el presente documento, la minería por legalidad se divide en minería formal e informal, siendo esta última subdividida en informal evasiva e informal elusiva. (OSINERMINING, 2007). Debido a que la minería informal no cuenta con permisos ni derechos de explotación, en su mayoría se trata de la minería artesanal, por lo que es importante prestar atención tanto en la extracción como en el manejo adecuado de sus residuos, en especial en regiones como Madre de Dios y Puno.

Si la demanda del oro está en crecimiento, las medidas preventivas y correctivas deben ser aplicadas con regularidad para evitar que el impacto ambiental sea mayor, la contaminación y sobretodo los efectos en la salud de las poblaciones aledañas a la zona de extracción. (Acosta, Santisteban, Huanacuni, & Valencia , 2015)

Si bien los procedimientos para extraer el oro no han variado desde la introducción a las técnicas como la del cianuro, se pueden determinar pocos métodos nuevos, que no tienen mayor impacto ambiental que los mencionados, y que son aplicables para la minería ambiental.

Se espera que el presente trabajo sirva como fuente bibliográfica y recopilación guía acerca de los métodos nuevos de extracción de oro, aplicado en especial a la minería ilegal o informal.

1.1. Descripción del problema de investigación

En la actualidad Perú vive un gran momento en cuanto a minería se refiere, la relevancia que tiene este sector en la economía peruana es de suma importancia, en concreto la producción de oro aumento considerablemente respecto años anteriores y se proyecta para el 2050 según el documento “Estimación del potencial minero metálico del Perú y su contribución económica al Estado, acumulado al 2050”, de Chira, Ríos, Trelles y Villareal dónde indican que:

“En la proyección del potencial al 2050, en un escenario normal, el cobre es el metal de mayor aporte económico para el Perú, con el 69% del potencial total, seguido del oro (10%), Zn (6%), Fe (6%), Ag (5%), Mo (2%), Pb (1%) y otros (1%). Hasta el año 2050, se estima el potencial con una producción total acumulada de Cu de 320 millones de toneladas finas (MTF), 244 millones de onzas finas (MOzF) de Au, 2779 MTF de Fe, 60 MTF de Zn, 8604 MOzF de Ag, 4 MTF de Mo y 12 MTF de Pb” (Chira Fernández, Ríos Moreno, Trelles Vásquez, & Villarreal Jaramillo, 2018).

Como podemos observar, el aporte proyectado al 2050 es del 10%, ocupando un segundo puesto luego del aporte de 69% del cobre. En la tabla 1 podemos observar la estimación de producción metálica fina acumulada al 2050, en millones.

Tabla 1: Estimación de producción metálica fina acumulada al 2050, en millones

TIPO	Cu (MTF)	Au (MOzF)	Fe (MTF)	Zn (MTF)	Ag (MOzF)	Mo (MTF)	Pb (MTF)
Operaciones	70.55	61.96	372.55	23.41	2545.48	1.15	4.8
Cartera de proyectos	57.5	35.97	417.56	10.7	854.59	1.04	2.59
Recursos inferidos	27.29	18.1	204.34	7.4	600.75	0.14	1.45
EIA-SD	25.74	43.91	428.12	5.1	1649.77	0.52	1.21
Áreas potenciales	139.12	84.5	1356	13.48	2953.51	1.59	1.93
Total	320.2	244.44	2778.57	60.09	8604.1	4.44	11.98

Nota: Tomado de “Estimación del potencial minero metálico del Perú y su contribución económica al Estado, acumulado al 2050” (Chira Fernández, Ríos Moreno, Trelles Vásquez, & Villarreal Jaramillo, 2018, pág. 58).

La producción de empresas según la “Estimación del potencial minero metálico del Perú y su contribución económica al Estado, acumulado al 2050” e incluyendo un filtro que es conveniente para la tesina, se incluyen las empresas que tienen como mínimo 10 años de vida, y están ordenadas de mayor a menor respecto a su producción anual.

Tabla 2: Proyección a 10 años de las empresas mineras productoras de Oro

Nro	Tipo de depósito	Unidad Minera	Ubicación	Empresa	Commodity	Reservas	Tonelaje	Tonelaje al 2016 (TMS)	Producción anual (TMS)	Vida Util	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
1	Pórfidos de Cu-Mo	Toquepala	Tacna	Southern Copper Corporation	Au (g/t)	3,916,617,000	3,916,617,000	3,916,617,000	78,078,078	51	72,242	72,242	113,615	136,166	136,166	136,166	136,166	136,166	136,166	136,166	136,166	136,166	136,166
2	Skarn	Ferrobamba	Apurimac	MMG - Las Bambas	Au (g/t)	1,086,370,000	2,562,770,000	2,562,770,000	54,621,631	47	2,294,109	2,294,109	2,294,109	2,294,109	2,294,109	2,294,109	2,294,109	2,294,109	2,294,109	2,294,109	2,294,109	2,294,109	2,294,109
3	Pórfidos de Cu-Au	Antapaccay	Cusco	Glencore	Au (g/t)	531,000,000	1,189,000,000	1,189,000,000	51,789,240	23	3,582,931	3,582,931	3,582,931	3,582,931	3,582,931	3,582,931	3,582,931	3,582,931	3,582,931	3,582,931	3,582,931	3,582,931	3,582,931
4	Pórfidos de Cu-Mo	Constancia	Cusco	HudBay Minerals Inc	Au (g/t)	887,156,296	887,156,296	887,156,296	49,421,852	18	1,601,268	1,601,268	1,601,268	1,601,268	1,601,268	1,601,268	1,601,268	1,601,268	1,601,268	1,601,268	1,601,268	1,601,268	1,601,268
5	Pórfidos de Cu-Mo	Cuajone	Moquegua	Southern Copper Corporation	Au (g/t)	1,911,458,000	1,911,458,000	1,911,458,000	43,189,630	44	161,895	161,895	161,895	161,895	161,895	161,895	161,895	161,895	161,895	161,895	161,895	161,895	161,895
6	Epitermales de alta sulfuración	Tantahuatay	Cajamarca	Cia de Minas Buenaventura S.A.A/ Cia. Minera Colmolache S.A.	Au (g/t)	81,267,346	619,386,297	619,386,297	21,800,962	28	4,632,704	4,632,704	4,632,704	4,632,704	4,632,704	4,632,704	4,632,704	4,632,704	4,632,704	4,632,704	4,632,704	4,632,704	4,632,704
7	Epitermales indiferenciados	La Arena	La Libertad	La Arena S.A.	Au (g/t)	622,947,409	622,947,409	622,947,409	18,186,469	34	6,340,506	6,340,506	6,340,506	6,340,506	6,340,506	6,340,506	6,340,506	6,340,506	6,340,506	6,340,506	6,340,506	6,340,506	6,340,506
8	Epitermales indiferenciados	Lagunas Norte	La Libertad	Barrick Gold Corporation	Au (g/T)	70,670,000	127,870,000	127,870,000	13,006,665	10	14,144,748	14,144,748	14,144,748	14,144,748	14,144,748	14,144,748	14,144,748	14,144,748	14,144,748	14,144,748	14,144,748		
9	Epitermales indiferenciados	Pucamarca	Tacna	MINSUR S.A.	Au (g/t)	43,730,000	117,630,000	117,630,000	7,766,790	15	3,285,352	3,285,352	3,285,352	3,285,352	3,285,352	3,285,352	3,285,352	3,285,352	3,285,352	3,285,352	3,285,352	3,285,352	3,285,352
10	Epitermales indiferenciados	Colquijirca	Pasco	Sociedad Minera El Brocal S.A.A	Au (g/t)	90,000,000	261,926,000	261,926,000	6,000,000	44	207,425	445,047	445,047	445,047	445,047	445,047	445,047	445,047	445,047	445,047	445,047	445,047	445,047
11	Epitermales indiferenciados	Shahuindo	Cajamarca	Tahoe Resources Inc.	Au (g/T)	32,622,264	179,932,264	168,510,126	2,855,534	59	1,485,759	1,485,759	1,485,759	1,485,759	1,485,759	1,485,759	1,485,759	1,485,759	1,485,759	1,485,759	1,485,759	1,485,759	1,485,759
12	Skarn	El Porvenir	Pasco	Compañía Minera Milpo S.A.A	Au (g/t)	43,188,062	43,188,062	43,188,062	1,924,227	22	379,610	379,610	379,610	379,610	379,610	379,610	379,610	379,610	379,610	379,610	379,610	379,610	379,610
13	Oxidos de Fe-Cu-Au (IOCG)	Condestable - Rajil	Lima	Southern Peaks Mining	Au (g/t)	17,088,158	17,088,158	17,088,158	1,785,842	10	315,041	315,041	315,041	315,041	315,041	315,041	315,041	315,041	315,041	315,041	315,041		
14	Epitermales indiferenciados	Tucari	Moquegua	Aruntani S.A.C.	Au (g/t)	19,716,667	19,716,667	19,716,667	1,152,046	17	743,069	743,069	743,069	743,069	743,069	743,069	743,069	743,069	743,069	743,069	743,069	743,069	743,069
15	Skarn	Huarón	Pasco	Pan American Silver Corp.	Au (g/t)	9,500,000	13,400,000	13,400,000	841,364	16	41,070	41,070	41,070	41,070	41,070	41,070	41,070	41,070	41,070	41,070	41,070	41,070	41,070
16	Skarn	Atacocha	Pasco	Compañía Minera Milpo S.A.A	Au (g/t)	4,942,514	11,848,927	11,848,927	832,437	14	442,526	442,526	442,526	442,526	442,526	442,526	442,526	442,526	442,526	442,526	442,526	442,526	442,526
17	Orogénicos de Au (Pb-Zn-Cu)	Retamas	La Libertad	Minera Aurifera Retamas S.A.	Au (g/t)	5,622,779	10,072,779	10,072,779	812,113	12	6,090,844	6,090,844	6,090,844	6,090,844	6,090,844	6,090,844	6,090,844	6,090,844	6,090,844	6,090,844	6,090,844	6,090,844	6,090,844
18	Epitermales indiferenciados	La Virgen	La Libertad	Cia. Minera San Simon	Au (g/t)	34,178,924	34,178,924	34,178,924	496,215	69	409,973	409,973	409,973	409,973	409,973	409,973	409,973	409,973	409,973	409,973	409,973	409,973	409,973
19	Epitermales indiferenciados	Apumayo	Ayacucho	Apumayo S.A.C	Au (g/T)	19,541,143	19,541,143	19,541,143	489,714	40	133,692	133,692	133,692	133,692	133,692	133,692	133,692	133,692	133,692	133,692	133,692	133,692	133,692
20	Polimetálicos con superposición epitermal	Huancapeti	Ancash	Compañía Minera Lincuna S.A	Au (g/t)	9,172,882	9,172,882	9,172,882	288,772	32	1,394	1,394	1,394	1,394	1,394	1,394	1,394	1,394	1,394	1,394	1,394	1,394	1,394
21	Epitermales indiferenciados	Pallancata	Ayacucho	Compañía Minera Ares S.A.C. (Hoshchild Mining)	Au (g/t)	1,004,545	2,750,631	2,750,631	231,284	12	384,872	384,872	384,872	384,872	384,872	384,872	384,872	384,872	384,872	384,872	384,872	384,872	384,872
22	Polimetálicos con superposición epitermal	Quiruvilca	La Libertad	Southern Peaks Mining	Au (g/t)	3,170,072	3,170,072	3,170,072	126,368	25	59,778	59,778	59,778	59,778	59,778	59,778	59,778	59,778	59,778	59,778	59,778	59,778	59,778
23	Orogénicos de Au (Pb-Zn-Cu)	Capitana	Arequipa	Compañía Minera Caraveli S.A.C.	Au (g/t)	1,103,235	1,103,235	1,103,235	108,116	10	1,024,019	1,024,019	1,024,019	1,024,019	1,024,019	1,024,019	1,024,019	1,024,019	1,024,019	1,024,019	1,024,019		
24	Epitermales indiferenciados	Tambojasa	Arequipa	Compañía Minera Caraveli S.A.C.	Au (g/T)	5,482,328	5,482,328	5,482,328	71,841	76	417,003	417,003	417,003	417,003	417,003	417,003	417,003	417,003	417,003	417,003	417,003	417,003	417,003

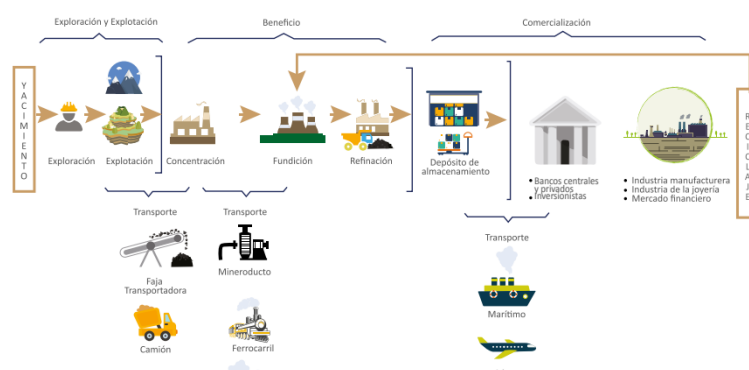
Nota: Tomado de “*Estimación del potencial minero metálico del Perú y su contribución económica al Estado, acumulado al 2050*” (Chira Fernández, Ríos Moreno, Trelles Vásquez, & Villarreal Jaramillo, 2018, pág. 58)

Como podemos observar el número de empresas que se dedican a este rubro, tienen tiempo de vida que va decayendo, asimismo, debemos considerar que en este mundo, en una etapa mundial donde lo eco ambiental está en auge y no por moda, sino porque nuestro planeta necesita ayuda. De acuerdo al documento de Veiga, Maxson y Hylander, (Veiga, Maxon, & Hylander , 2006) concluyeron que las principales amenazas ambientales causadas por la extracción de oro en el mundo incluyen la deforestación, drenaje de ácido de las minas, la contaminación del agua y el aire causada por el arsénico, el cianuro y la contaminación por mercurio. Los problemas ambientales y de salud causados por el mercurio están bien documentados World Health Organization. Sin embargo, su uso está ligado a la minería artesanal de hoy en día. Los mineros artesanales, están expuestos directamente al mercurio líquido y a los vapores durante el procesamiento del oro, que libera mercurio directamente en los sedimentos, las vías fluviales y la atmósfera.

De acuerdo al documento de Osinerming, “La Minería en el Perú” (Osinerming, 2017), indica que el oro es demandado como insumo y como bien final. Demanda derivada y demanda final son los términos adecuados. La primera es orientada a la joyería y tecnología e industria. La segunda está dirigida a bancos e inversionistas.

En la siguiente figura se muestra la cadena de valor de la minería por el lado de la oferta.

Tabla 3: Cadena de valor de la minería por el lado de la oferta



Nota: Tomado de “La minería en el Perú” (Osinerming, 2017, pág. 40)

Se puede observar que la exploración y explotación de los yacimientos son la parte inicial y fundamental de la producción del metal precioso.

El proceso de extracción de oro, según (Yanacocha, 2018). Indica que utiliza pilas de lixiviación que en concreto refiere a un almacén en forma de pirámide escalonada en la que se aglomera en este caso el oro extraído. Posterior pasa por un sistema por goteo, en una solución cianurada de 50 miligramos por litro de agua, lo que logra la disolución de oro. Posterior a esta etapa se obtiene una solución rica que contiene oro y mercurio. Ambos procesos tanto en la minera artesanal y la industrial tienen similitud respecto a los procesos químicos utilizados para la recuperación, en ese sentido es necesario investigar nuevas tecnologías que nos permitan reducir el impacto ambiental y en la salud de la minería, así como la exposición prolongada de químicos peligrosos en los operarios de turno.

De acuerdo al documento “Minería Ilegal” del Ministerio del Ambiente, “La minería ilegal es la actividad minera que se realiza en espacios prohibidos como las riberas de ríos, lagunas, cabeceras de cuenca y las zonas de amortiguamiento de áreas naturales protegidas. También se considera minería ilegal a los que usan equipo y maquinaria pesada, que no corresponde a la categoría de pequeña minería o minería artesanal. El Decreto Legislativo N° 1105, define entonces a los mineros ilegales como aquellos que no cumplen con las exigencias administrativa, técnicas, sociales y ambientales de ley, o que se realiza en zonas en las que esté prohibida. Por otro lado, la minería informal está compuesta por aquellos operadores mineros que no son legales y que han iniciado un proceso de formalización, cumpliendo con las distintas etapas establecidas por el estado. Además, los informales no operan en zonas prohibidas ni utilizan maquinaria que no corresponden a su categoría”. (Minería ilegal, 2018).

El proceso de legalización está vigente, de acuerdo al documento de El Peruano donde indica que IGAFOM dispuso el documento “Instrumento de Gestión Ambiental para la Formalización de Actividades de Pequeña Minería y Minería Artesanal” y mediante el decreto supremo N° 038-2017-EM, el cual indica: “se declara de interés nacional la formalización de las actividades de

la pequeña minería y minería artesanal, creando el Proceso de Formalización Minera Integral y estableciendo medidas conducentes a su ejecución” (EL PERUANO, 2017)

La minería ilegal según el documento mencionado, tiene efectos en la salud, ya que la comunidad afectada se ve enferma por la absorción del mercurio usado en su depredación. El documento Minería Ilegal, redactado por el Ministerio de Medio Ambiente indica sobre los efectos de la minería, y su impacto en la salud y en el ambiente.

“La salud de la población se ve afectada especialmente por la absorción en el organismo de mercurio y otros metales pesados como el plomo y el arsénico, que usan los mineros ilegales en su actividad. El mercurio, contamina también las fuentes de agua (ríos, lagos y lagunas), contaminando también a los peces que son la base de la alimentación en las poblaciones amazónicas. El ser humano absorbe el 95% del mercurio contenido en los pescados contaminados que come.” (Minería ilegal, 2018)

Entonces una de las principales consecuencias es en la salud, siendo que las personas absorben regularmente el 95% de mercurio de los alimentos a los que están expuestos, entre ellos el pescado. En Puerto Maldonado, por ejemplo, este es el principal alimento proteico de los pobladores. Luego se tiene el principal impacto ambiental en Puerto Maldonado, por ejemplo:

“En Madre de Dios, la minería aluvial de oro ya ha devastado más de 50 mil hectáreas de bosques, sin contar árboles muertos en pie, lagunas y pantanos destruidos. Además, el gran movimiento de tierras altera los sistemas de drenaje y produce pérdidas de hábitat para innumerables especies. Por otro lado, para extraer y concentrar el oro se utilizan procesos e insumos que producen residuos tóxicos (ej., con contenido de cianuro o mercurio) que contaminan el aire, los suelos y las aguas.” (Minería ilegal, 2018)

La afección en el ambiente, la devastación de bosques es inminente. En Puerto Maldonado, más de 50 mil hectáreas han sido taladas. Afectar al medioambiente, no indica solo la tala de árboles, también implica la depredación de especies, y todo lo que esto conlleve. Del mismo modo podemos indicar que la minería ilegal es causante de depredar y contaminar el medio ambiente en el cual a lo largo de sus concesiones se observa una gran cantidad de residuos mineralizados que al ser desechos tienen residuos de químicos y demás catalizadores que tienen un impacto directo en la contaminación de las zonas en las que rodea tales como ríos, áreas protegidas, etc. En este sentido al ser un país con mucha informalidad en el rubro minero, es considerable la población que se encuentra laborando de manera informal respecto a minería se refiere.

Considerando la informalidad que se observa en este rubro, no existe un control adecuado del manejo de sus residuos, en regiones como Madre de Dios y Puno, a lo largo de su territorio se observan gran cantidad de residuos mineralizados, que como ha sido mencionado causan contaminación a la población y el medio en el que se rodean.

Luego de lo detallado, se tiene que la demanda de oro está en crecimiento, el tiempo de vida de los yacimientos en caída y esto sumado a la gran informalidad del país acompañado de las consecuencias de la minería informal, se puede detallar que es necesario encontrar nuevas formas de extracción de oro que tenga menos efecto en el medio ambiente y más beneficios.

1.1.1. Formulación del problema (interrogante principal)

¿Existen nuevos métodos y tecnologías aplicadas a la recuperación de oro en el Perú, que sean más amigables con el medio ambiente?

1.1.2. Sistematización del problema (interrogantes secundarias)

¿Cómo reducir el daño ambiental con innovaciones en el área de la minería?

¿Cuál es la situación actual del Perú en cuanto a investigaciones sobre nuevas tecnologías o métodos para recuperar oro?

¿Es posible replicar tecnologías utilizadas en otros lugares, para nuestro medio?

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo general

Recopilar investigaciones de bibliografía especializada sobre métodos y tecnologías aplicadas a la recuperación de oro en el Perú en residuos mineralizados, e identificar la mejor desde una perspectiva ambiental

1.2.2. Objetivos Específicos

- Investigar y evaluar sobre la situación actual de la producción y extracción de oro en el país.
- Investigar y evaluar nuevos métodos y tecnologías de extracción de oro
- Identificar el mejor método de aplicación de extracción de oro en el país.
- Identificar y explicar los beneficios de este nuevo método de extracción de oro.

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación Teórica - Práctica

Los ambiciosos proyectos mineros con el que el Perú cuenta, superan con creces los US\$ 40,000 millones de inversión, es así que en años venideros permitirá que nos sigamos manteniendo al Perú como uno de los más importantes países a nivel mundial respecto a minería se refiere. Así, el sector minero deberá mejorar y captar mayores inversiones y así acrecentar capital. (Minería peruana, 2017)

En este contexto el país debe enfrentar diferentes desafíos, tales como la gestión ambiental y en específico el tema de este

estudio que es investigar sobre metodologías y tecnologías actuales de recuperación de oro, lo que ayudará a mantenernos informados sobre las últimas investigaciones para que en posteriores estudios puedan ser aplicados por los interesados y así manejar proyectos ambientalmente sostenibles.

Del mismo modo, actualmente vivimos una gran etapa minera como país como ya ha sido mencionada, y una tendencia global de preservar el medio ambiente buscando la manera de trabajar sostenible con el medio ambiente. Nos condiciona a buscar en este caso metodologías y tecnologías que permitan un equilibrio y poder obtener tanto ingresos económicos como preservar nuestro medio ambiente; es claro que se debe buscar aportar con la investigación de nuevos métodos y tecnologías en este rubro lo que permitirá tener un mayor conocimiento de cómo manejar este tema que por la importancia que tiene en nuestro país, y por qué no, posteriores investigación realizadas en nuestro territorio, sirvan como referencia en otras latitudes donde también se necesite abordar de una mejor manera el manejo de la recuperación de oro, de una manera amigable con el medio ambiente.

1.3.2. Justificación personal

Es un reto personal el ampliar mis conocimientos en un problema del día a día y asociarlos para su aplicación mediante lo aprendido durante mis años de estudio.

Del mismo modo, dada la importancia de este sector en la economía peruana, y los pronósticos que indican aún más su crecimiento. Es importante que como estudiantes apoyemos a mejorar este rubro mediante nuestras investigaciones, ya que como ha sido mencionado es una de los pilares en el cual gira nuestra economía.

1.4. Delimitación del trabajo

Las delimitaciones del presente trabajo tendrán como eje:

1.4.1. Temático

Métodos y tecnologías aplicadas a la recuperación de oro en el país, lo cual permitirá manejar información de cómo se trabaja en otras latitudes de nuestro planeta.

1.4.2. Espacial

El presente trabajo de investigación se realizará a lo largo de la geografía peruana

1.4.3. Temporal

El periodo de tiempo el cual abarcara la investigación es de 6 meses.

Del mismo modo se busca contrastar la información con temas tratados en nuestra formación académica los cuales abarcan conocimiento en:

- Metodología de la investigación científica
- Gestión del medio ambiente
- Gestión de la seguridad Humana
- Sistemas de calidad
- Calidad Total
- Formulación y evaluación de proyectos

CAPÍTULO II: REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Antecedentes

La extracción actual de minerales, en nuestro caso el oro, según Osinerming. La primera etapa es la exploración, en esta etapa se debe encontrar los nuevos yacimientos mineros, hay dos tipos, la base y la avanzada. Su desarrollo implica 5 riesgos relevantes: 1) riesgo de descubrimiento, vinculado a la baja probabilidad para descubrir un yacimiento de mineral económicamente extraíble; 2) riesgo geológico, debido al alto grado de variabilidad en tamaño, nivel de concentración en los yacimientos de mineral; 3) riesgo del proyecto, originado por la incertidumbre asociada a la cantidad de reservas, métodos de recuperación y requerimiento de inversión; 4) riesgos de mercado, relacionado a la variación en los niveles de precios y tipo de cambio; y 5) riesgos intangibles, haciendo referencia a las políticas regulatorias y coyuntura económica. (Osinerming, 2017). La segunda etapa para la extracción, es la explotación. El desarrollo minero depende primero de la instalación y la construcción de infraestructura. Construcción de viviendas, habilitación, tratos y negociaciones con las poblaciones afectadas, entre otros. Luego de estos requerimientos se pone en marcha la explotación en sí. Es importante que los yacimientos tengan la concentración indicada por ley, superior a la ley de corte. Para que el mineral pueda ser viable económicamente. La explotación viene acompañada por economías de escala. Luego de la explotación se mueve el material con equipo especializado para esto. La tercera etapa, la etapa de beneficio, presenta economías de alcance, porque al extraer el oro, se extraen otros metales que reducen los costos de producción, siendo esto beneficioso para la empresa minera. Luego la comercialización y el reciclaje son las últimas dos etapas, La comercialización va de la mano con el transporte a los depósitos de almacenamiento para su embarque y venta final.

Para tener un poco más en perspectiva, tenemos el caso de MISKY, según el documento de Costa, Alfonso y Palacios, la población de

Misky, en Arequipa. Esta minera artesanal es la principal fuente económica del poblado. El material extraído es procesado utilizando como medio el mercurio, este produce severos daños ambientales, así como también a la salud. El mineral extraído cuyo contenido es oro pasa al molido por quimbaletes, además se concentra oro mediante una combinación de mineral con mercurio denominado amalgama. Siguiendo a otra etapa la mezcla denominada amalgama pasa por una retorta para poder separar tanto oro como mercurio. Siguiendo la etapa lo que se obtiene es mercurio que por lo general superior al 80% del utilizado, la merma de mercurio es liberado al medioambiente. Las aguas localizadas en la población Misky y zonas aledañas contienen una concentración de mercurio elevada respecto a lineamientos de control de contaminación, establecido por entidades como la Organización Mundial de la Salud. Las conclusiones de estudio propusieron realizar una concentración del mineral de oro previamente al empleo de los quimbaletes para poder reducir el mercurio utilizado y el nuevo uso de mercurio activado. Uno de los principales problemas medioambientales es que, debido a la extracción mediante la cianuración o amalgamación con mercurio, las afecciones cutáneas, pulmonares, llegando a afectar y acumularse en el hígado, intestino, riñones y otros órganos gastrointestinales. El Mercurio produce Mercurialismo, queda retenido en el cabello. Las afecciones para un poblador son grandes. Las enfermedades producidas por el mercurio pueden ser combatidas encontrando nuevos métodos de extracción.

(Fajardo & col, 2010) centraron su investigación en neutralizar residuos de cianuro provenientes de Nueva Esparta (mina) ubicada en Andes-Sotomayor, que contiene tres neutralizantes comerciales en las condiciones de neutralizante/gr de Cianuro- libre/total neutralizar, hipoclorito de sodio sulfato ferroso y peróxido de hidrógeno con diferentes concentraciones. Este tipo de residuo que fue arena se trató desde el inicio del lavado, se logró controlar el agua de lavado y recirculación para volver a iniciar un lavado. Se utilizaron posterior a esto técnicas estadísticas con algunas técnicas, medioambientales y

de carácter económico, se logró proponer que los mejores tratamientos para la remoción de cianuro libre y total son respectivamente las relaciones con peróxido de hidrogeno. En los resultados los metales Zn, Mn, Fe, Ni, Cu, y Pb se observaron que después de la neutralización con H_2O_2 , los metales disminuyeron su concentración; a su vez utilizando hipoclorito de sodio se observó un aumento en la mayoría, con una remoción mínima de plomo y manganeso. Con $FeSO_4$, se obtuvo remoción para gran parte, pero el Pb y el Mg maximizaron su relación.

Por otro lado, investigaciones recientes Morillo & Guevara (2015), indican que “las temperaturas de 32 y 36°C en combinación con los pH 9.5, 10, 10.5 en la degradación de cianuro de sodio por *Pseudomonas sp.* Se consideró aislar en base a lodo activo que se encuentra en planta de tratamiento de aguas residuales de Covicorti-Trujillo (Perú), mostraron grandes resultados en la mitigación de cianuro por *Pseudomonas*. (p.232)

Un estudio reciente en Corea del norte. (On & col, 2017) indican que, con el fin de mejorar la recuperación de oro, en general, se lleva a cabo en el concentrado de oro durante el proceso de tostado, es en este proceso donde el arsénico (As) se libera del concentrado de oro y algunos metales se convierten en óxidos. Esto causa la contaminación del aire a través de la liberación de As y la pérdida de elementos valiosos al descartar los minerales de óxido en los relaves. Con el fin de evitar la liberación de As y la pérdida de metales valiosos, se llevó a cabo un experimento de horneado con ácido sobre el concentrado de oro con la adición de una solución de H_2SO_4 . Se confirma que la cocción con ácido sulfúrico evitó la liberación de As en el aire y la recuperación de metales valiosos como Fe, Cu, Zn y Pb que anteriormente se descartaron en los relaves.

Es importante ponernos en contexto respecto al país y a la producción de oro. Tenemos en primera parte que el Perú se encuentra en el puesto 1 a nivel latinoamericano y puesto 6 a nivel mundial, siendo el

primer puesto para Australia. Respecto a las reservas mineras, está Australia con el 18.1% de participación, respecto al 4.3% de aportado por Perú. (Ministerio de Energía y Minas, 2017).

Tabla 4: Producción Minera Metálica

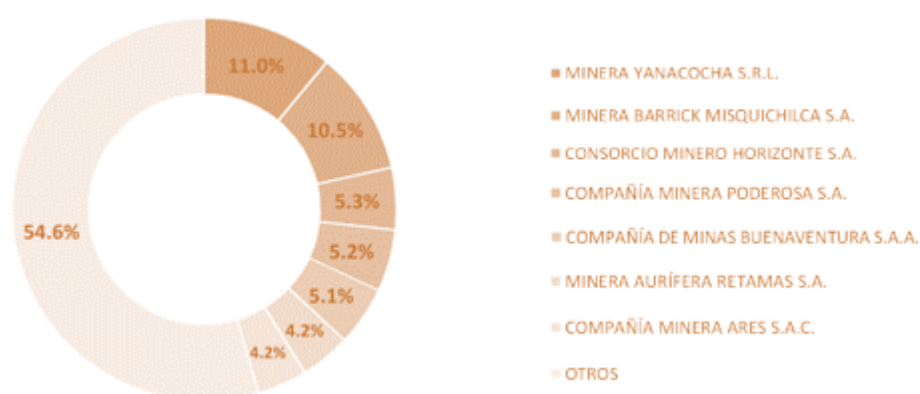
PRODUCTO	UNIDAD	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017 1/
COBRE	MILLONES DE TMF	1.27	1.28	1.25	1.24	1.30	1.38	1.38	1.70	2.35	2.45
ORO	TMF	179.87	183.99	164.08	166.19	161.54	151.49	140.10	146.82	153.01	151. 10
ZINC	MILLONES DE TMF	1.60	1.51	1.47	1.26	1.28	1.35	1.32	1.42	1.34	1.47
PLATA	TMF	3,686	3,923	3,640	3,419	3,481	3,674	3,768	4,102	4,375	4,30 4
PLOMO	TMF	345,109	302,459	261,990	230,199	249,236	266,472	277,294	315,525	314,422	306, 794
HIERRO	MILLONES DE TMF	5.16	4.42	6.04	7.01	6.68	6.68	7.19	7.32	7.66	8.81
ESTAÑO	TMF	39,037	37,503	33,848	28,882	26,105	23,668	23,105	19,511	18,789	17,7 90
MOLIBDENO	TMF	16,721	12,297	16,963	19,141	16,790	18,140	17,018	20,153	25,757	28,1 41

Nota: Tomado de “Anuario minero 2017” (Ministerio de Energía y Minas, 2017)

Como podemos observar la producción de Oro ha ido cayendo, debido a la baja demanda del mismo, ya que en Estados Unidos la situación económica ha ido en decadencia. Sin embargo, el crecimiento económico en China, e India ayudo a que la demanda de oro haya podido tener un crecimiento desde el 2014.

Para tener un poco más de perspectiva, las empresas productoras de oro tienen la siguiente participación:

Figura 1: Participación empresas auríferas en el Perú



Nota: Tomado de “Anuario minero 2017” (Ministerio de Energía y Minas, 2017)

Se puede observar que Yanacocha tiene la mayor participación con el 54.6%, le sigue Barrick Misquichilca con 11% y Consorcio minero Horizonte con el 10.5%

2.2. Marco conceptual

¿Cuál va a ser mi aporte de revisión teórico-metodológico e informativo?

Los aportes que realizaré para el estudio de los Métodos y tecnologías aplicadas a la recuperación de oro en el Perú, desde una perspectiva ambiental”, serán: 1) la documentación con datos actualizados analizando la situación actual del Perú con respecto a la recuperación de relaves mineros formales e informales de oro en el país, 2) Investigar

acerca de los métodos de extracción eco amigables, para un menor daño ambiental.

2.2.1. Industria minera formal en el Perú

Las operaciones mineras en nuestro país inician desde épocas pre-hispánicas, por la gran cantidad de metales que ofrece el País. En la actualidad, el rubro minero es una de las principales actividades productivas económicas del país. En la industria, respecto a la minería formal, destacan compañías como Buenaventura, El Broncal, Minsur, Volcan entre otras. Adicional se puede indicar que, el Perú es uno de los principales países que reciben un presupuesto global de exploración minera. Lo que la convierte en un destino de mucha importancia para las empresas mineras transnacionales como: Southern Copper; Vale; Anglo American; Xstrata y demás; por mencionar algunas. Como es de conocimiento la industria minera es la principal fuente de ingresos fiscales en Perú, lo que otorga un grado de relevancia mayor al resto de rubros económicos que tiene el país. En este sentido podemos indicar que nuestro país está teniendo un gran impacto por las nuevas exploraciones que se está realizando y se ve reflejado valga la redundancia en que estas transnacionales ya cuentan con oficinas a lo largo de nuestro país, y se encuentran asociadas a empresas locales para comenzar a laborar en el territorio. (Larrain Vial, 2012).

En cuanto a la minería formal, en el año 2014 la región de Latinoamérica y Canadá (LAC) fue responsable del 26% de la producción mundial de oro. Canadá fue el principal productor de la región con 150.852 kilogramos (kg) de oro. Otros de los principales productores fueron Perú, con 147,833 kg; México, 117,771 kg; y Brasil, 79,600 kg. En total, la región produjo 812.945 kg de oro, un aumento del 9,6% con respecto a 2013. De esta cantidad, Canadá y Perú representaron el 5% y México el 4%. Esto según (Barry & col, 2014).

Según el Ministerio de Energía y Minas en el año 2016 (tabla 1) el Perú ocupó a nivel de Latinoamérica el primer lugar en extracción Oro y Plomo y a nivel mundial fue el segundo país en el ranking mundial de producción minera de cobre, plata y zinc. Lo que una vez más muestra la importancia de este sector y en concreto el crecimiento en cuanto a extracción de oro se refiere

2.2.2. Minas extractivas de Oro en Perú

De acuerdo al Anuario Minero 2017, tenemos que la principal empresa minera es Yanacocha, le siguen Pierina y Lagunas Norte. Presentamos en la siguiente tabla la información condensada.

Tabla 5: Empresas productoras de oro y producción anual (gramos finos)

EMPRESA	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
TOTAL	179,870,474	183,994,690	164,084,391	166,186,717	161,544,667	151,486,074	140,097,027	146,822,906	153,005,897	151,103,941
MINERA YANACOCHA S.R.L.	56,195,926	64,016,538	45,461,506	40,220,576	41,864,948	31,640,329	30,168,698	28,565,282	20,782,825	16,630,743
MINERA BARRICK MISQUICHILCA S.A.	48,996,372	39,756,121	31,054,109	28,469,524	26,890,296	21,801,178	18,616,182	19,108,156	17,002,408	15,822,535
CONSORCIO MINERO HORIZONTE S.A.	5,162,260	5,008,215	6,007,356	5,897,883	5,727,388	6,201,810	7,681,698	7,785,563	7,538,711	7,933,711
COMPAÑÍA MINERA PODEROSA S.A.	3,154,251	3,295,528	3,593,086	3,560,244	3,958,259	4,561,025	4,863,263	6,125,853	6,874,889	7,857,003
COMPAÑÍA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.	11,280,433	11,153,731	11,969,698	10,633,851	8,526,026	7,743,310	7,581,843	6,772,095	5,913,111	7,672,121
MINERAAURÍFERA RETAMAS S.A.	4,323,204	4,749,675	4,868,809	5,160,322	5,465,292	5,498,865	5,630,877	5,625,874	6,090,844	6,402,036
COMPAÑÍA MINERAARES S.A.C.	3,081,280	2,315,842	1,810,726	1,451,974	1,387,716	1,257,872	1,598,733	2,888,057	6,184,335	6,332,221
LA ARENA S.A.	-	-	-	1,656,104	6,213,785	6,563,922	6,829,558	7,132,784	6,340,655	5,870,708
GOLD FIELDS LA CIMA S.A.	1,087,838	-	-	5,232,225	5,507,609	5,167,059	4,884,014	5,148,749	4,912,076	5,165,324
COMPAÑÍA MINERA COIMOLACHE S.A.	-	-	-	1,379,797	4,330,000	4,438,674	4,503,412	4,503,361	4,632,813	4,734,850
COMPAÑÍA MINERAANTAPACCAY S.A.	-	-	-	-	595,115	2,448,415	2,144,886	3,829,140	3,563,015	4,366,208
MINERA LA ZANJA S.R.L.	-	-	1,188,626	4,179,617	3,496,040	4,273,322	4,470,086	4,148,171	4,346,144	3,987,359
MINSUR S.A.	-	-	-	-	-	581,633	3,295,369	3,685,685	3,285,352	3,100,289
ANABI S.A.C.	-	-	1,393,116	2,288,086	1,921,189	1,227,125	374,592	2,313,701	2,647,510	2,830,059
MINERA LAYTARUMA S.A.	2,560,806	2,790,001	3,056,077	3,353,524	3,304,711	2,923,314	3,124,881	2,796,159	3,188,992	2,707,894
COMPAÑÍA MINERA CARAVELÍ S.A.C.	955,994	915,303	989,185	955,306	1,098,794	1,309,362	1,410,937	1,358,896	1,441,023	2,606,758
MINERA VETA DORADA S.A.C.	-	-	636,336	1,408,178	1,900,878	2,391,064	2,096,312	2,101,576	2,231,272	2,502,001
SHAHUINDO S.A.C.	-	-	-	-	-	-	-	-	1,485,759	2,378,973
ARUNTANI S.A.C.	4,601,219	5,334,864	6,512,497	6,194,307	5,530,637	4,915,097	5,244,797	4,723,309	3,663,069	2,242,175
CÍA MRA LOS ANDES PERÚ GOLD S.A.C.	-	-	-	-	-	-	-	-	560,157	2,222,328
OTROS	21,762,612	27,444,113	26,568,254	21,654,707	22,413,697	21,145,103	17,709,487	16,035,980	15,236,165	17,043,533
Estimado de mineros artesanales	16708279	17214759	18975010	22490492	11412287	15397595	7867402	12174515	25084772	20695112
MADRE DE DIOS	16708279	17214759	18975010	22490492	11412287	15397595	7867402	12174515	17,083,809	12,146,076
PUNO	-	-	-	-	-	-	-	-	5,710,996	6,377,675
AREQUIPA	-	-	-	-	-	-	-	-	1,557,953	1,895,905
PIURA	-	-	-	-	-	732,015	275,456			

Nota: Tomado de “Anuario minero 2017” (Ministerio de Energía y Minas, 2017)

Como se puede observar también la minería informal está considerada para la participación de producción anual de oro, ya que conforme ha ido pasando el tiempo, su participación ha ido aumentando.

Figura 2: Mapa de yacimientos auríferos en el Perú



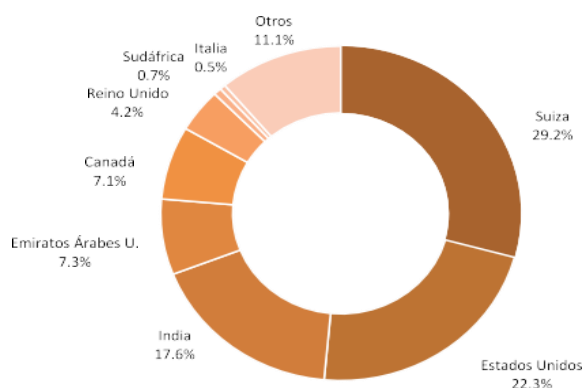
Nota: Tomado de “¿Dónde se encuentra el oro en el Perú?, (Acosta, Santisteban, Huanacuni, & Valencia , 2015)

EL Perú tuvo una participación del 17.8% del total de exportaciones nacionales. (Ministerio de Energía y Minas, 2017) Los principales destinos de la exportación aurífera de Perú en el mundo son Suiza, Canadá, Estados Unidos, India y Reino Unido según datos de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE, 2018). La SNMPE anunció este año que las exportaciones de oro ascendieron 694 millones de dólares en el

primer mes del año 2018, lo que significó un crecimiento del 23% en comparación a lo registrado en enero del 2017 donde se reportó 565 millones de dólares. SNMPE (2018).

También es importante indicar que gran parte del aumento en exportaciones de oro es gracias a la pequeña minería y mineros artesanales, en concreto regiones como Puno, Mina la rinconada que en sus faldas tiene grandes contratas que como ya ha sido mencionado aumentaron exponencialmente la extracción del metal precioso.

Figura 3: Destino de exportaciones de oro



Nota: Tomado de Anuario minero 2017, (Ministerio de Energía y Minas, 2017)

Podemos observar que el principal destino, como se mencionó antes, es Suiza, con el 29.2%, seguido por Estados Unidos, con 22.3%, India, con 17.6%, Emiratos Árabes, con 1.3%, Canadá, con 7.1%, siendo los principales destinos.

2.2.3. Concepto Minería industrial

Considera una actividad primordial en el país, está referida a explotar recursos minerales acumulados en zonas consideradas mineralizadas; utilizando procesos estandarizados, automatizados y controlados por áreas que se encargan de mantener en armonía los procesos encontrados en la cadena de producción. (Osinermining, 2017) El volumen productivo es considerable a comparación de la minería artesanal, ya que en su mayoría los procesos involucrados se encuentran

automatizados, lo que permite aglomerar una gran cantidad de mineral, esta cumple los lineamientos ordenados en el país que radique, siendo este importante para un correcto uso de sus operaciones.

Pese a tener procedimientos estandarizados y a su vez áreas que se encargan de mantener el medio ambiente y la minería de manera responsable, es de conocimiento que muchos de estos lugares tienen problemas en el manejo de los materiales de recuperación en los relaves, es importante indicar que por el volumen de producción que tienen y que tiene producción 24/7 las emisiones que tendrán son considerables.

Vale indicar que este rubro tiene entre principales empresas a transnacionales especialistas en este rubro que tienen concesiones en todo el mundo lo que le se ve reflejado tanto en la manera de trabajar, y del mismo modo en la tecnología que se utiliza en cada uno de las concesiones. (Osinerming, 2017)

2.2.4. Minería informal

La minería informal, según Torres Cuzcano se da debido a que el área de explotación no está bajo los reglamentos adecuados, es una zona protegida, su explotación puede poner en peligro la salud y vida de los pobladores aledaños, puede afectar los sistemas de irrigación, si están involucrados personajes públicos, o involucrados en política, si hay explotación infantil. La minería ilegal se diferencia de la informal principalmente en que la informal no incumple ninguno de los parámetros antes mencionados, incumple más bien en el tema de regulaciones y normas administrativas que son necesarias para formalizar una mina. De acuerdo al documento de Víctor Torres Cuzcano, “Minería informal e ilegal en el Perú: impacto socioeconómico” indica que “En el Perú, el volumen de oro efectivamente producido por la minería ilegal o informal, así como el número de productores involucrados en estas actividades, aún se mantienen en el campo de las estimaciones

gruesas. En cuanto al número de productores, las cifras fluctúan en torno a 100,000 personas; pero también están las estimaciones que llegan a quintuplicar dicha cantidad”. (Torres Cuzcano, 2015, pág. 25).

Esta referido al tipo de trabajo extractivo en minería que no tiene una serie de procesos definidos, con una producción en poca escala, de volumen no muy considerable. De mismo modo está relacionada a manejar sus procesos de manera empírica, a su vez no propone lineamiento de controles medio ambientales y tanto colaboradores como responsables no cuentan con las mínimas condiciones de seguridad y salud en el trabajo. Vale la pena indicar que la minería artesanal abarca gran parte del territorio peruano, trabaja con materiales prohibidos y del mismo modo son ajenos a cumplir las normas impuestas por las entidades de control respectivas. (Torres Cuzcano, 2015)

La minería artesanal en las Regiones de Madre de Dios y Puno aportan el 35% de producción de oro. Esto según información de Ingemmet (2017), como podemos observar está siendo importante el papel de los mineros artesanales por su contribución en este caso para la producción por regiones.

2.2.5. Métodos de extracción de oro

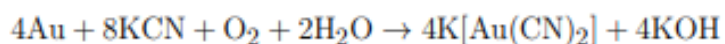
La práctica actual en específico para la extracción de oro es la amalgamación. Según (Yanacocha, 2018), los procesos de extracción de oro pueden ser la lixiviación en pilas, el proceso GoldMill, columnas de carbón, Merrill Crowe, y Refinería. En estos casos se usa mercurio o cianuro y carbón.

Para entrar más a detalle, existen:

a. Procesos metalúrgicos cuando el oro está al aire libre

La filtración de oro por cianuración alcanza una alta tasa de recuperación, además de la toxicidad del cianuro y las graves amenazas para el hábitat natural y para el

personal de la industria. La cianuración con oro es un proceso electroquímico: el oro se disuelve en la solución de cianuro alcalino y forma un complejo de cianuro de oro. La reacción global se puede resumir en la siguiente (Ecuación 1). (Dorin & Woods, 1991).



Ecuación 1

El oxidante empleado es el oxígeno atmosférico: donde su función es aumentar la concentración de oxígeno disuelto cuando aumenta la velocidad de disolución del oro, como lo muestra (Raphulu & Scurrrell, 2015). La presencia de aire / oxígeno es esencial para una alta extracción de metales. Los principales factores que influyen en la solubilidad del oro en la solución de cianuro son la concentración de oxígeno y cianuro, la temperatura, el pH, el área superficial, la velocidad de agitación y la presencia de otros aniones/cationes. La hidrolización de cianuro depende del pH del ambiente de lixiviación. Aproximadamente a pH 9.3, la mitad del cianuro total está presente como cianuro libre y la otra mitad como cianuro de hidrógeno tóxico, (Young & Jordán, 1995). Recomiendan bajar el pH conduce a una solución más alta, se recomienda un pH superior a 9.0 para la seguridad de los trabajadores.

Vale la pena indicar que esta tecnología actualmente es aplicada en nuestro país, pero de manera inadecuada lo que ocasiona daños en el medio donde es utilizado.

Es también necesario aclarar que la recuperación utilizando esta tecnología y metodología es considerado contaminante, en consecuencia, lo que se prevé es que

los siguientes años la utilización de cianuro disminuya o caso contrario por investigaciones que aún están en desarrollo se mejoren los compuestos cianurados.

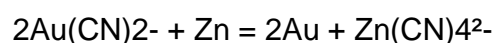
Una pequeña empresa innovadora, activa en el campo de la recuperación y refinación de metales preciosos desde hace más de diez años, patentó una metodología que explota la acción sinérgica del ion cianuro y el sulfonato de tres nitrobenzenos para la eliminación selectiva de metales preciosos de diversas matrices Tschanen (2008). El proceso es competitivo en pequeñas cantidades, pero no puede reemplazar las metodologías tradicionales ya que el rendimiento real del proceso no es muy alto.

En cuanto a la utilización en pequeña minería el SNMPE (2018), en concreto regiones como Madre de dios y Puno aumentaron la adquisición de cianuro en un 5% lo cual para entidades reguladoras ambientales como la OEFA es preocupante por el simple hecho de que el manejo que dan, es inadecuado y peligroso tanto para el medioambiente como para los colaboradores que tienen contacto directo con este material.

1) La cianuración y precipitación con polvo de zinc, fusión y refinación

EL proceso también conocido como Merrill Crowe. La química de este proceso está basada principalmente en que el oro es más noble que el zinc, lo que hará que a partir de la solución del cianuro, el oro se precipitará.

Ecuación1:



Se da en las siguientes etapas: clarificación de la solución, eliminación de oxígeno de la solución, adición

de zinc y sales de plomo, recuperación del precipitado de oro.

En la siguiente figura podemos observar el diagrama de flujo de una planta de precipitación Merrill-Crowe

El uso del Método Merrill Crowe, es usado en 10 de las más grandes minas de oro, es atractivo ya que la proporción de plata a oro es alta.

2) Cianuración y absorción con carbón activado, desorción, elector deposición y refinación

Este proceso recae en que las materias carbonadas activas pueden absorber el oro contenido en las soluciones de cianuro. El carbón activado es preparado a partir del carbón vegetal duro, tratado para desarrollar su absorción y porosidad. Luego de esto la pulpa mineral es enviada a otros agitadores mecánicos, donde se añade el carbón activado y es retenido en un sistema de criba. Luego las soluciones auríferas se tratan por electrolisis y el oro se deposita en los cátodos de lana de hierro. (Estudios mineros del Perú, 2016).

b. Procesos metalúrgicos cuando el oro está al asociado a sulfuro

1) Flotación, fusión, refinación

La flotación es un método fisicoquímico que se basa en la concentración de minerales finamente molidos. Es actualmente el más eficaz y el más usado, se distingue entre “flotación colectiva” (separación de minerales distintos, como los sulfurados y no sulfurados) y la flotación diferencial (separación de tipos similares de mineral, como la separación de sulfuros de Cobre, Plomo y Zinc). (Estudios mineros del Perú, 2016)

La concentración por flotación es transferida a la espuma o fracción flotante. Dejando la ganga en la pulpa o colas. La flotación de oro puede hacerse en metal nativo minerales asociados a sulfuros de cobre, plomo o arsenopirita.

2) Flotación, biolixiviación, absorción con carbón activado, desorción, electro deposición.

La lixiviación bacteriana consiste básicamente en el uso de bacterias para la generación del sulfato férrico, que se constituye en el disolvente del sulfuro de cobre. El principio se basa en la utilización de bacterias que oxidan el hierro y bacterias que oxidan el azufre. Estas bacterias utilizan el oxígeno y el carbono de la atmósfera para que mediante su metabolismo generen la oxidación del hierro y el azufre. Efectuada la disolución de los sulfatos de cobre se procede a la recuperación del contenido metálico del mismo, siguiendo los demás procedimientos de una planta de lixiviación. (Estudios mineros del Perú, 2016)

2.2.6. Nuevas tendencias e investigaciones en la recuperación del oro

2.2.6.1. Métodos sustitutivos de la amalgamación de todo el mineral

La amalgamación trae aparejado el grado de exposición amplio, un método para minimizar el uso de mercurio, sería concentrar la parte del mineral que contiene oro antes de agregar el mercurio, lográndolo al triturar y moler el mineral para obtener partículas más pequeñas, usando concentradoras con revestimiento o magnéticas. La gravimetría como el cribado o centrifugado, para capturar más oro y usar menos mercurio.

La eliminación del mercurio se puede dar por separación o concentración por gravedad. El 10% de los casos actuales de minería de oro artesanal, el oro es encontrado libre, en minerales de aluvión y la tecnología más prometedora para el uso del mercurio es la cianuración (PNUMA, 2018).

Sin embargo, estudios recientes han definido que la gravimetría es un mecanismo para obtener oro artesanalmente sin recurrir al mercurio ni cianuro.

- **SEPARACIÓN MAGNÉTICA:**

El documento “Tecnología para la obtención de oro sin mercurio en la minería a pequeña escala” indica que la práctica actual ha usado el mercurio que es altamente toxico, sin embargo, para el caso de la minería artesanal se puede usar este nuevo método **SEPARACIÓN MAGNÉTICA**, dónde “la tecnología desarrollada permite que la MPE pueda recuperar el oro de las gravas auríferas sin emplear mercurio aún en condiciones tan difíciles como las que imperan en la Selva Peruana. Los resultados alcanzados hasta la fecha demuestran que ello es posible gracias a la Separación Magnética de los minerales de poco valor y la reducción significativa del peso del producto que contiene el oro; esto permite el traslado del producto a poblados donde puede procesarse adicionalmente para obtener oro semirrefinado o refinado si fuera el caso” (Villachica León, Llamosas Bueno, & Villachica Llamosas, 2004) este método requiere intensidades de campo altas para ser efectivo, los imanes de neodimio usados con intensidades magnéticas en el orden de 13000 gauss. El sistema no será exitoso si no se completa el tratamiento de concentrado enriquecido. El análisis químico rápido y con bajo costo del concentrado enriquecido con el MPE. La propuesta también considera sistemas de reciclaje y regeneración de reactivos tóxicos o contaminantes. No se incluye la lixiviación ni reactiva tóxica, este sistema

complementario de fundición resulta rentable debido a la reducción de peso del concentrado y a la complementación con procesos adicionales como flotación. La producción de oro sin mercurio en la MPE peruana hará posible que este sector alcance un alto nivel de estándar ambiental, facilitando de ese modo su financiamiento y desarrollo sostenible; asimismo podrá obtener una mejor cotización por el oro producido bajo la modalidad de “Oro Ecológico” u “Oro Verde”; el sistema propuesto reduce además el esfuerzo físico del MPE, recupera más oro y otros valores adicionales prescindiendo del gasto y dependencia que significaba emplear mercurio. El sistema también puede ser aplicado en otros países donde existe actividad artesanal aurífera. (Villachica León, Llamosas Bueno, & Villachica Llamosas, 2004).

- **GRAVIMETRÍA**

La explotación y procesamiento de minerales auríferos mediante cianuro, son altamente dañinos, gracias a esto se investiga la gravimetría como un método libre de contaminación por reactivos tóxicos.

La concentración por gravedad es un método para separar partículas de minerales de diferente peso debido a sus diferencias de movimiento en respuesta a las acciones que ejercen sobre ellas. En general, los métodos de separación por gravedad se agrupan en tres categorías principales: a) Separación por medios densos, en el cual las partículas se sumergen en un baño que contiene un fluido de densidad intermedia, de tal manera que algunas partículas floten y otras se hundan; b) Separación por corrientes verticales, en la cual se aprovechan las diferencias entre velocidades de sedimentación de las partículas pesadas y livianas, como es el caso del jig; y c) Separación en corrientes superficiales de agua o “clasificación en lámina delgada”, como es el caso de

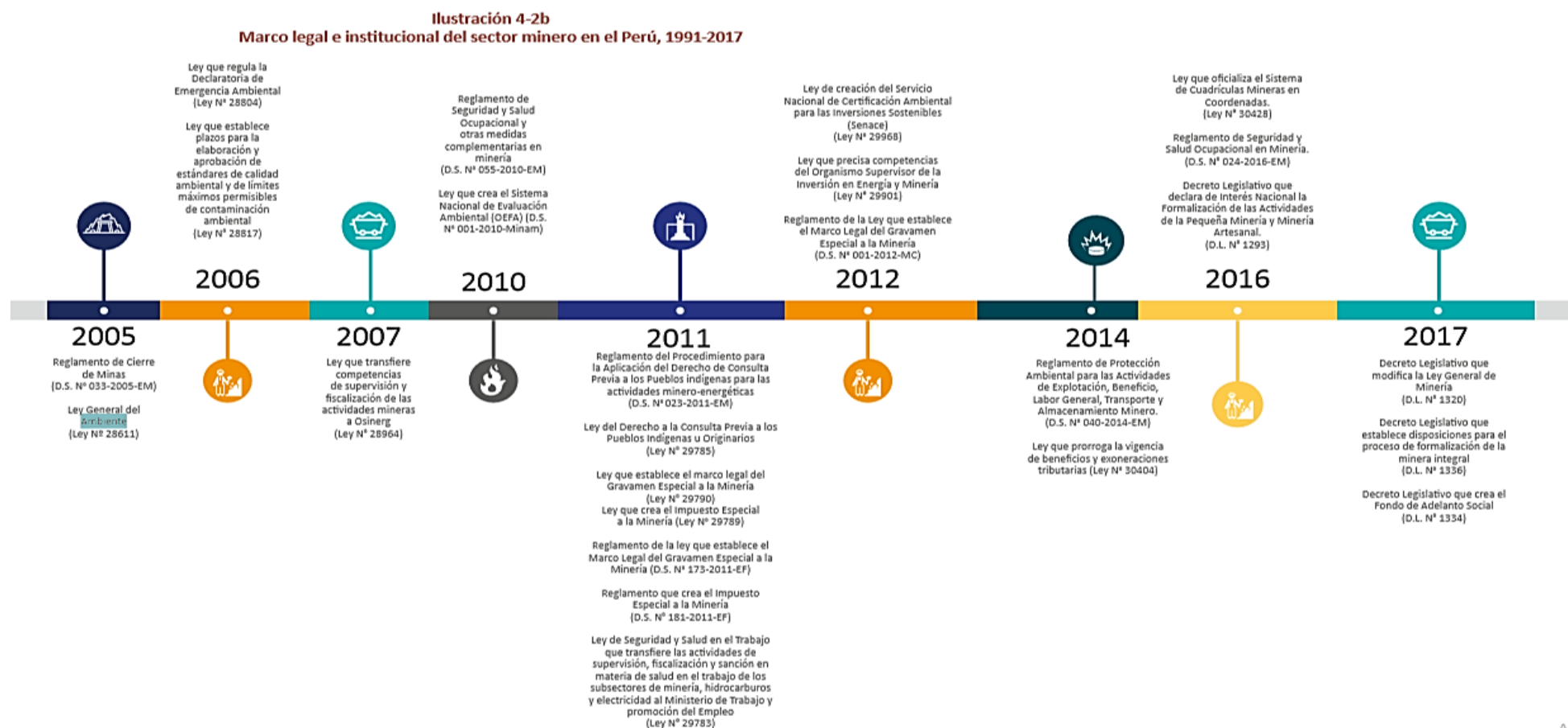
las mesas concentradoras y los separadores de espiral. (Navarro Choque, 2017). La concentración gravimétrica se fundamenta en la diferencia de peso específico entre la ganga y el mineral aurífero (15,3 a 19,3); por ello es importante que el metal precioso este liberado de los acompañantes, y su tamaño no sea inferior a 30 micrones.

2.2.7. Implicancias ambientales de la metalurgia del oro

Es sumamente importante tener un manejo ambiental adecuado de los procesos extractivos mineros, gracias a la normativa, según indica el documento de Osinerming: “En el sector minero la regulación social se relaciona con la seguridad industrial, la salud de los trabajadores y la protección del ambiente. En la mediana y gran minería, Osinergmin, OEFA y Sunafil son las instituciones encargadas de efectuarla” (Osinerming, 2017)

A continuación, se muestra el histórico de la normatividad y formalidad de la minería

Figura 4: Marco legal e institucional de la minería en el Perú



Nota: Tomado de “Minería en el Perú”, (Osinerming, 2017)

Los principales residuos generados por esta actividad están constituidos por: Residuos Sólidos (Roca procesada); Residuos Líquidos (Mercurio, Cianuro, Cal, Sales de Metales Pesados y Reactivos); Emisiones Gaseosas (Amalgamación, Cianuración, Gases Nitrosos, Polvo, Gases de Combustión). (Munive & Palomino , 2009).

El uso de mercurio en la minería es usado en la minería artesanal para separar y extraer el oro de las rocas o piedras que se encuentran, el mercurio se adhiere al oro formando una amalgama que facilita la separación de la roca, arena u otro material. Luego se calienta la amalgama para evaporar el mercurio y quedarse con el oro. (PNUMA, 2018)

El daño debido a mercurio se debe al consumo de alimentos afectados por el mercurio, también en el aire, por inhalación. La intoxicación por metilmercurio ocasiona problemas neurológicos, es muy peligroso para las mujeres en edad fértil, la lactancia puede afectar mucho al recién nacido. El polvo de mercurio también se adhiere a la ropa de los mineros y llega al hogar.

El mercurio afecta al ecosistema, denominando a las zonas afectadas “zonas mineras críticas” que se caracterizan por ser fuentes de dispersión del mercurio en sistemas acuáticos.

2.2.7.1. Implicancias ambientales del cianuro

De acuerdo al documento NO A LA MINA, indica que los principales impactos ambientales son para las plantas y animales, así como para los humanos.

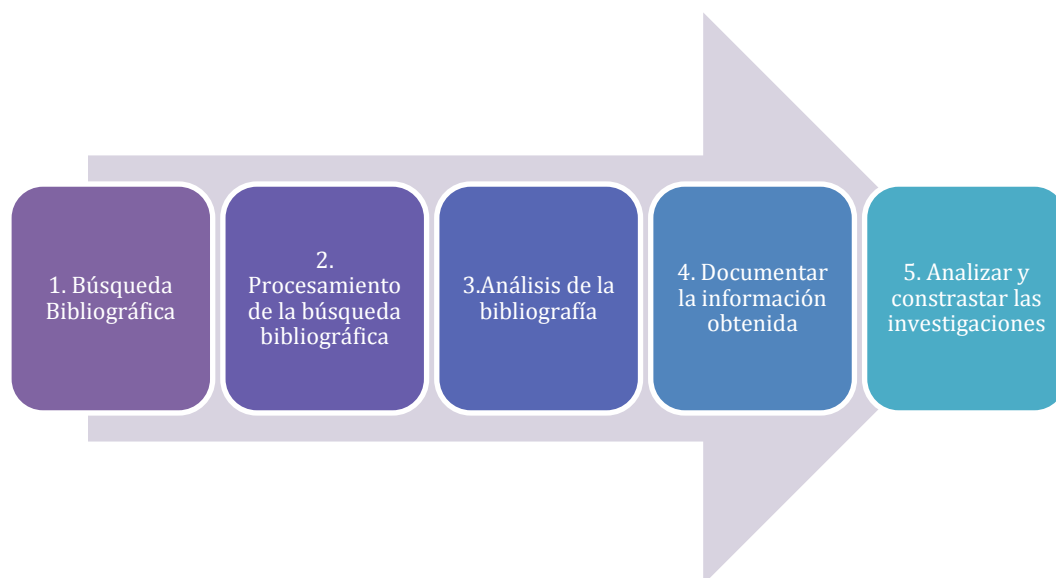
“Para las plantas y los animales, el cianuro es extremadamente tóxico. Derrames de cianuro pueden matar la vegetación e impactar la fotosíntesis y las capacidades reproductivas de las plantas. En cuanto a los animales, el cianuro

puede ser absorbido a través de la piel, ingerido o aspirado. Concentraciones en el aire de 200 partes por millón (ppm) de cianuro de hidrógeno son letales para los animales, mientras que concentraciones tan bajas como 0.1 miligramos por litro (mg/l) son letales para especies acuáticas sensibles. Concentraciones subletales también afectan los sistemas reproductivos, tanto de los animales como de las plantas. Las dosis letales para humanos son, en caso de que sean ingeridas, de 1 a 3 mg/kg del peso corporal, en caso de ser asimilados, de 100-300 mg/kg, y de 100-300 ppm si son aspirados. Esto significa que una porción de cianuro más pequeña que un grano de arroz sería suficiente para matar a un adulto. La exposición a largo plazo a una dosis subletal podría ocasionar dolores de cabeza, pérdida del apetito, debilidad, náuseas, vértigo e irritación de los ojos y del sistema respiratorio. Hay que tener mucho cuidado al manejar el cianuro, para efectos de prevenir el contacto dañino de parte de los trabajadores. Sin embargo, según la industria, no hay ningún caso de fatalidades humanas en las minas que usan las técnicas de lixiviación con cianuro.” (NO A LA MINA, 2006)

Se puede mencionar entonces que los niveles de toxicidad del cianuro La concentración letal de cianuro de hidrógeno gaseoso (LC50) es de 100-300 partes por millón

2.3. Mapa Mental

Figura 5: Mapa mental



Nota: Elaboración en base al propósito del presente trabajo



2.4. Hipótesis

Dado que existe un problema ambiental en los métodos y tecnologías aplicadas a la recuperación de oro en el Perú, es posible encontrar nuevas soluciones más eficientes y menos agresivas con el ambiente en la recuperación de oro en el Perú

2.5. Hipótesis descriptiva:

A mayor cantidad de residuos mineros, cuanto más es posible recuperar aplicando estos métodos y tecnologías.

2.6. Hipótesis explicativa:

La aplicación de estos métodos y tecnologías es una alternativa en la recuperación amigable de oro en residuos mineros.

2.7. Hipótesis tecnológica

El uso de estos métodos y tecnologías es beneficioso para el medio ambiente

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Diseño de Investigación

El presente trabajo es de diseño no experimental, ya que un diseño no experimental es debido a que solo se recopilará, procesará y analizará información veraz y sustentada acerca de nuevos métodos y tecnologías para la recuperación del oro en el Perú desde una perspectiva ambiental.

En ese sentido lo que se realizó fue revisar las últimas tendencias en cuanto a tecnologías y métodos aplicados a la recuperación de oro se refiere, algunas de estas investigaciones se encuentran prontas a concluir y ser consideradas aplicativas. Para la presente investigación se plantearon tres etapas las cuales son.

Tabla 6: Diseño de la información

Etapas	Nombre	Objetivo	Importante
1	Recolección de Información	Documentar investigaciones referidas a métodos y tecnologías aplicadas a la recuperación de oro	Se buscó información de fuentes confiables y del mismo modo se recibió información de especialista en temas mineros
2	Análisis de la información	Análisis de las investigaciones, tratamiento y su posterior documentación con los aspectos más relevantes	Muchas de las investigaciones abarcan métodos que solo son aplicables en un territorio específico.
3	Documentación final de las investigaciones	Brindar un extracto de las investigaciones analizadas y hacer una primera aproximación si puede ser replicable en el medio.	Al ser netamente un trabajo de investigación se realiza un extracto de lo más importante brindando una primera aproximación.

Fuente: Elaboración Propia

3.2. Tipo de Investigación

El tipo de investigación es de tipo No experimental- concluyente, debido a que con todas las revisiones bibliográficas realizadas se llegará a determinadas conclusiones con sustento bibliográfico, investigativo y exploratorio.

Al ser una investigación la bibliografía nos permitirá dar una primera aproximación de lo estudiado, ya que el tratamiento que se le da tiene carácter de ampliar los conocimientos, y a su vez brindar un extracto de la revisión de estas investigaciones que en consecuencia permitirán al investigador tener una mejor perspectiva sobre el tema en estudio. A su vez se puede indicar que es concluyente ya que mucha de la bibliografía es concluyente en cuanto al alcance de sus investigaciones, para nuestra investigación es concluyente en el hecho de que a partir de una primera aproximación por lo revisado podemos dar una opinión si a futuro estas investigaciones pueden ser aplicadas en nuestro medio, esto para posteriores investigaciones que necesiten ser aplicativas por los interesados.

3.3. Métodos De Investigación

El método de la investigación será del tipo teórica - exploratoria, ya que utilizaremos la revisión bibliográfica de diferentes investigaciones alrededor del mundo referidas sobre métodos y tecnologías de recuperación de oro, la investigación teórica nos permite generar conocimiento y comprender las bases de la investigación, en este caso a métodos y tecnologías aplicadas a la recuperación de oro, esto trae como consecuencia incrementar nuestros conocimientos, la presente investigación teórica está orientada a buscar nuevos métodos y tecnologías de recuperación de oro que nos permitan solucionar o mejorar la brecha que existe entre minería y medio ambiente, en cuanto a contaminación se refiere.

Al ser exploratoria se busca en un conjunto de investigaciones que están basadas en este tema, las opciones q se presentan son amplias, pero es importante indicar que muchas de las aplicaciones de estas

investigaciones se limitan, a los lugares donde han sido investigadas es decir el alcance de aplicación no permite ser replicada en otras regiones.

3.4. Levantamiento De Datos

Para el levantamiento de datos la investigación será realizada por el método de técnicas de investigación que incluyen revisión y análisis bibliográfico.

Para la presente investigación se realizaron el levantamiento de datos primarios y datos secundarios, datos primarios están referidos a los alcances referidos en este tema respecto a entrevista a expertos donde no solo se preguntó aspectos de la factibilidad de la investigación, en este caso el experto brindo tanto alcances como algunas sugerencias bibliográficas que deberían ser revisadas, y en efecto la información obtenida por las referencias del experto fueron de gran ayuda para comenzar a adentrarnos aún más en el tema de estudio. Este primer aporte nos permite direccionar de manera adecuada la investigación.

Datos secundarios son considerados, antecedentes de investigación sobre estos temas en los cuales buscaremos contrastar información, este caso ya referidos a nuevos métodos y tecnologías aplicados actualmente en otras regiones, realizando una primera aproximación por parte del que investiga si es factible para nuestro medio.

3.5. Análisis De Datos

El análisis de los datos, está referido al tratamiento de la información por parte del investigador ya que parte de la información son datos teóricos, en consecuencia, lo que se prevé es ampliar la perspectiva del investigador con información veraz y de fuentes confiables, informándose sobre las últimas investigaciones en este tema, para lograr ordenar parte de las investigaciones se clasifico por tipo ya sea método o tecnología, del mismo modo lugar de procedencia como ámbito aplicativo, ya que como ha sido mencionado existen investigaciones que por sus características son aplicables netamente en el lugar de origen; como ha sido mencionado al clasificarlo por tipo, año y lugar de

procedencia nos permitirá documentar de una manera adecuada y del mismo modo dar un mejor tratamiento a la información extraída de estas investigaciones.

La información extraída deberá ser documentada para posterior brindar una síntesis y una primera aproximación de cada trabajo de investigación. Y en la medida de las posibilidades otro tema de investigación podría estar enfocada a proponer una nueva metodología o técnica de recuperación de oro.

3.6. Matriz de Consistencia

Tabla 7: Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA					
TÍTULO:	"MÉTODOS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS A LA RECUPERACIÓN DE ORO EN EL PERÚ, DESDE UNA PERSPECTIVA AMBIENTAL"				
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS PRINCIPAL	VARIABLES DEPENDIENTES (y)	INDICADORES	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN
¿Existen nuevos métodos y tecnologías aplicadas a la recuperación de oro en el Perú, que sean más amigables con el medio ambiente?	Recopilar investigaciones de bibliografía especializada sobre métodos y tecnologías aplicadas a la recuperación de oro en el Perú en residuos mineralizados, e identificar la mejor desde una perspectiva ambiental	Dado que existe un problema ambiental en los métodos y tecnologías aplicadas a la recuperación de oro en el Perú, es posible encontrar nuevas soluciones más eficientes y menos agresivas con el ambiente en la recuperación de oro en el Perú	Métodos en la recuperación del oro	1. Tipos de métodos 2. Minas extractoras 3.Beneficios cuantificables	Diseño no experimental-exploratorio
			Tecnologías en la recuperación del oro	1. Tipos de métodos 2. Minas extractoras 3.Beneficios cuantificables	
SISTEMATIZACION DEL PROBLEMA	OBJETIVOS ESPECIFICOS		VARIABLES INDEPENDIENTES (X)		
¿Es posible reducir el daño ambiental con métodos extractivos eco amigables en el área de la minería? ¿Cómo está el Perú en investigaciones sobre nuevas tecnologías o métodos para recuperar oro?	Investigar y evaluar sobre la situación actual de la producción y extracción de oro en el país. Investigar y evaluar nuevos métodos y tecnologías de extracción de oro Identificar y el mejor método de aplicación de extracción de oro en el país. Identificar y explicar los beneficios de este nuevo método de extracción de oro.	Propuesta 1,2,3 para métodos en la recuperación del oro Propuesta 1,2 y 3 para tecnologías en la recuperación del oro			

Nota: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: DIAGNÓSTICO DE RESULTADOS

4.1. Resultados

Al ser los métodos y tecnologías aplicadas en la recuperación un tema que aporte conocimiento en el manejo en el sector minero de nuestro país, la presente investigación prevé informar a los interesados sobre los distintos métodos y tecnologías aplicadas a la recuperación de oro a nivel mundial que pueden ser aplicados.

Desde una primera perspectiva lo que se espera es que el presente trabajo sirva como base para una futura investigación experimental aplicativa, gran parte de lo expuesto en el trabajo está siendo aplicado en la actualidad, muchos de los trabajos que salen actualmente lo que buscan es mejorar de alguna manera investigaciones ya desarrolladas, este es el caso de la cianuración que en cuanto investigaciones busca reducirse el impacto medioambiental que tiene, del mismo modo es importante indicar que un tema para posteriores líneas de investigación es la recuperación de oro a partir de productos electrónicos de manera que el reciclaje y reutilización sirvan en cierta manera a mejorar la gran cantidad de desechos de este tipo que se tiene en otras latitudes.

4.1.1. Síntesis

- La tecnología química que se aplica en nuevas mezclas de cianuro en la recuperación de oro, buscan mitigar de alguna manera los efectos colaterales que esta contiene para con el medio ambiente.
- Muchas investigaciones buscan tratar este tema mediante la utilización de algas que solo crecen en ciertas regiones, lo que limita el alcance aplicativo.
- Se puede concluir que la separación magnética es el método más recomendado para la extracción de oro siendo eco amigables.

I. Recopilación de las principales empresas mineras dedicadas a la extracción de oro del Perú

A continuación, se sitúan las 10 principales empresas dedicadas a la minería aurífera. Siendo Yanacocha la principal en los últimos años.

Tabla 8 Diez principales empresas Auríferas en Perú

EMPRESA	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
TOTAL	179,870,474	183,994,690	164,084,391	166,186,717	161,544,667	151,486,074	140,097,027	146,822,906	153,005,897	151,103,941
MINERA YANACocha S.R.L.	56,195,926	64,016,538	45,461,506	40,220,576	41,864,948	31,640,329	30,168,698	28,565,282	20,782,825	16,630,743
MINERA BARRICK MISQUICHILCA S.A.	48,996,372	39,756,121	31,054,109	28,469,524	26,890,296	21,801,178	18,616,182	19,108,156	17,002,408	15,822,535
CONSORCIO MINERO HORIZONTE S.A.	5,162,260	5,008,215	6,007,356	5,897,883	5,727,388	6,201,810	7,681,698	7,785,563	7,538,711	7,933,711
COMPAÑÍA MINERA PODEROSA S.A.	3,154,251	3,295,528	3,593,086	3,560,244	3,958,259	4,561,025	4,863,263	6,125,853	6,874,889	7,857,003
COMPAÑÍA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.	11,280,433	11,153,731	11,969,698	10,633,851	8,526,026	7,743,310	7,581,843	6,772,095	5,913,111	7,672,121
MINERAAURÍFERA RETAMAS S.A.	4,323,204	4,749,675	4,868,809	5,160,322	5,465,292	5,498,865	5,630,877	5,625,874	6,090,844	6,402,036
COMPAÑÍA MINERAARES S.A.C.	3,081,280	2,315,842	1,810,726	1,451,974	1,387,716	1,257,872	1,598,733	2,888,057	6,184,335	6,332,221
LA ARENA S.A.	-	-	-	1,656,104	6,213,785	6,563,922	6,829,558	7,132,784	6,340,655	5,870,708
GOLD FIELDS LA CIMA S.A.	1,087,838	-	-	5,232,225	5,507,609	5,167,059	4,884,014	5,148,749	4,912,076	5,165,324
COMPAÑÍA MINERA COIMOLACHE S.A.	-	-	-	1,379,797	4,330,000	4,438,674	4,503,412	4,503,361	4,632,813	4,734,850

Nota: Tomado de “Anuario Minero 2017” (Ministerio de Energía y Minas, 2017)

II. Recopilación de los principales métodos de extracción

1. Procesos metalúrgicos cuando el oro está al aire libre
 - 1.1. La cianuración y precipitación con polvo de zinc, fusión y refinación
 - 1.2. Cianuración y absorción con carbón activado, desorción, electrolisis y deposición y refinación
2. Procesos metalúrgicos cuando el oro está asociado a sulfuro
 - 2.1. Flotación, fusión, refinación
 - 2.2. Flotación, biolixiviación, absorción con carbón activado, desorción, electrolisis y deposición.

III. Recopilación de los nuevos métodos de extracción, no contaminantes

1. Métodos sustitutos de la amalgamación de todo el mineral
 - 1.1. Separación magnética
 - 1.2. Gravimetría

IV. Implicancias ambientales de la metalurgia del oro

Tabla 9: Resumen de metodologías

Métodos de extracción tradicional	Métodos de extracción eco amigables
3. Procesos metalúrgicos cuando el oro está al aire libre	1. Métodos sustitutivos de la amalgamación de todo el mineral
<p>1.1. La cianuración y precipitación con polvo de zinc, fusión y refinación</p> <p>La filtración de oro por cianuración alcanza una alta tasa de recuperación, además de la toxicidad del cianuro y las graves amenazas para el hábitat natural y para el personal de la industria. La cianuración con oro es un proceso electroquímico: el oro se disuelve en la solución de cianuro alcalino y forma un complejo de cianuro de oro. Es también necesario aclarar que la recuperación utilizando esta tecnología y metodología es considerado contaminante, en consecuencia, lo que se prevé es que los siguientes años la utilización de cianuro disminuya o caso contrario por investigaciones que aún están en desarrollo se mejores los compuestos cianurados.</p>	<p>1.3. Separación magnética:</p> <p>Este método requiere intensidades de campo altas para ser efectivo, los imanes de neodimio usados con intensidades magnéticas en el orden de 13000 gauss. El sistema no será exitoso si no se completa el tratamiento de concentrado enriquecido. El análisis químico rápido y con bajo costo del concentrado enriquecido con el MPE. La propuesta también considera sistemas de reciclaje y regeneración de reactivos tóxicos o contaminantes. No se incluye la lixiviación ni reactiva tóxica, este sistema complementario de fundición resulta rentable debido a la reducción de peso del concentrado y a la complementación con procesos adicionales como flotación. La producción de oro sin mercurio en la MPE Peruana hará posible que este sector alcance un alto nivel de estándar ambiental, facilitando de ese modo su financiamiento y desarrollo sostenible; asimismo podrá obtener una mejor cotización por el oro producido bajo la modalidad de "Oro Ecológico" u "Oro Verde".</p>
<p>1.2. Cianuración y absorción con carbón activado, desorción, elector deposición y refinación</p> <p>Este proceso recae en que las materias carbonadas activas pueden absorber el oro contenido en las soluciones de cianuro. El carbón activado es preparado a partir del carbón vegetal duro, tratado para desarrollar su absorción y porosidad. Luego de esto la pulpa mineral es enviada a otros agitadores mecánicos, donde se añade el carbón activado y es retenido en un sistema de criba. Luego las soluciones auríferas se tratan por electrolisis y el oro se deposita en los cátodos de lana de hierro</p>	<p>1.4. Gravimetría</p> <p>La explotación y procesamiento de minerales auríferos mediante cianuro, son altamente dañinos, gracias a esto se investiga la gravimetría como un método libre de contaminación por reactivos tóxicos. La concentración por gravedad es un método para separar partículas de minerales de diferente peso debido a sus diferencias de movimiento en respuesta a las acciones que ejercen sobre ellas. En general, los métodos de separación por gravedad se agrupan en tres categorías principales: a) Separación por medios densos, en el cual las partículas se sumergen en un baño que contiene un fluido de densidad intermedia, de tal manera que algunas partículas floten y otras se hundan. La concentración gravimétrica se fundamenta en la diferencia de peso específico entre la ganga y el mineral aurífero (15,3 a 19,3); por ello es importante que el metal precioso este liberado de los acompañantes, y su tamaño no sea inferior a 30 micrones.</p>
2. Procesos metalúrgicos cuando el oro está al asociado a sulfuro	
<p>2.1. Flotación, fusión, refinación</p> <p>La flotación es un método fisicoquímico que se basa en la concentración de minerales finamente molidos. Es actualmente el más eficaz y el más usado, se distingue entre "flotación colectiva" (separación de minerales distintos, como los sulfurados y no sulfurados) y la flotación diferencial (separación de tipos similares de mineral, como la separación de sulfuros de Cobre, Plomo y Zinc).</p>	
<p>2.2. Flotación, biolixiviación, absorción con carbón activado, desorción, electro deposición.</p> <p>La lixiviación bacteriana consiste básicamente en el uso de bacterias para la generación del sulfato férrico, que se constituye en el disolvente del sulfuro de cobre. El principio se basa en la utilización de bacterias que oxidan el hierro y bacterias que oxidan el azufre. Estas bacterias utilizan el oxígeno y el carbono de la atmósfera para que mediante su metabolismo generen la oxidación del hierro y el azufre. Efectuada la disolución de los sulfatos de cobre se procede a la recuperación del contenido metálico del mismo, siguiendo los demás procedimientos de una planta de lixiviación</p>	
<p>La minería ilegal es la que más perjudica al ambiente, el mercurio es uno de los principales problemas ambientales y de salud, está ligado en especial a la minería artesanal, ya que los mineros están expuestos directamente al mercurio líquido, a los vapores emanados. El 95% de los vapores emanados son absorbidos por el ser humano.</p>	<p>Las nuevas metodologías son menos agresivas con el ambiente, reduciendo el uso de mercurio, enfocándose en propiedades naturales de los minerales extraídos. El mercurio al ser erradicado así como otras sustancias nocivas ayuda a que los efectos en la salud también sean reducidos.</p>

Nota: Elaboración propia, basado en un resumen de la información presentada en el documento.

4.1.2. Elección del método de extracción

A continuación, se presenta un cuadro de factores para escoger el método con menor impacto ambiental. Es importante mencionar que es una puntuación subjetiva, basada en la información presentada, niveles de toxicidad investigados y uso de compuesto por tipo de extracción. De donde se concluye que el tipo de extracción escogido es el de SEPARACIÓN MAGNÉTICA, ya que principalmente no usa mercurio para la recuperación.

Tabla 10: Elección de método

		Métodos de extracción tradicional								Métodos de extracción eco amigables			
		La cianuración y precipitación con polvo de zinc, fusión y refinación		Cianuración y absorción con carbón activado, desorción, elector deposición y refinación		Flotación, fusión, refinación		Flotación, biolixiviación, absorción con carbón activado, desorción, electro deposición.		Separación magnética		Gravimetría	
Aspecto	Ponderación	Calificación	Ponderación Total	Calificación	Ponderación Total	Calificación	Ponderación Total	Calificación	Ponderación Total	Calificación	Ponderación Total	Calificación	Ponderación Total
Uso de cianuro	0.25	5	1.25	5	1.25	1	0.25	1	0.25	1	0.25	1	0.25
Uso de carbón activado	0.25	5	1.25	5	1.25	5	1.25	5	1.25	1	0.25	1	0.25
Fuga de mercurio	0.25	5	1.25	5	1.25	5	1.25	5	1.25	1	0.25	3	0.75
Impacto en la salud	0.25	5	1.25	5	1.25	3	0.75	3	0.75	3	0.75	3	0.75
Impacto en el medio ambiente	0.25	5	1.25	5	1.25	4	1	4	1	3	0.75	3	0.75
Totales	1.25		6.25		6.25		4.5		4.5		2.25		2.75

Nota: Elaboración propia, basado en un resumen de la información presentada en el documento.

Tomar en cuenta que en el cuadro se escogió el valor menor 2.25, ya que las ponderaciones se dieron en una escala del 1 al 5, siendo 1 nada de impacto/ cero usos y 5 mayor impacto/ mayor uso. Entonces se tiene que para el caso de uso de cianuro se calificó 5 para los tipos de explotación ricas en cianuro, igual para el caso de carbón activado, fuga de mercurio, impacto en la salud y medio ambiente, de donde se desprende que el método a usar y escoger sería el de separación magnética.

4.2. Conclusiones

- El país se proyecta para el 2050 al oro como el segundo mineral más extraído en el país, siendo el primero el cobre. Las empresas que extraen el mineral legal y formalmente, entre las más renombradas tenemos a Yanacocha, Southern Copper Corporation, Las Bambas, Glencore, Hudbay Minerals INC, Barrick Gold Corporation, Consorcio Minero Horizonte, Minera Poderosa, Buenaventura, Ares, entre otros.
- La demanda de oro va en crecimiento, pero los yacimientos y tiempo de vida de las empresas extractoras respecto al mineral va en decadencia, por lo que lo manejable es el lado ambiental, las principales amenazas medioambientales debido a la extracción del oro en el mundo son la deforestación, drenaje de ácido de las minas, contaminación de agua, aire, causadas por el arsénico, el cianuro y sobretodo la contaminación por mercurio.
- El mercurio es uno de los principales problemas ambientales y de salud, está ligado en especial a la minería artesanal, ya que los mineros están expuestos directamente al mercurio líquido, a los vapores emanados. El 95% de los vapores emanados son absorbidos por el ser humano.
- La minería ilegal es la actividad realizada en espacios prohibidos como riberas de ríos, lagunas, etc. operan en zonas no permitidas. Distinto a

la minería informal, los informales no operan en zonas prohibidas ni utilizan maquinaria que no corresponden a su categoría.

- Las etapas de la explotación del mineral son la exploración, donde se ubican nuevos yacimientos; la extracción, la etapa más importante y a la cual evoca la investigación, el desarrollo minero depende de la instalación e infraestructura, sobretodo orientados al ambiente, la tercera etapa, es la de beneficio, donde se ubican economías de escala; la cuarta etapa es la comercialización.
- Los procesos de extracción de oro más conocidos se realizan cuando el oro esta al aire libre, por la filtración de oro por cianuración, con altas tasas de recuperación, siendo un proceso electroquímico, con efectos medioambientales severos. Luego se tiene la cianuración y precipitación con polvo de zinc, fusión y refinación, conocido como Merrill Crowe, basado en que el oro es más noble que el zinc, lo que permitirá a la solución que el oro se precipite. Otro método es el de cianuración y absorción con carbón activado, desorción, elector deposición y refinación, proceso que recae en que las materias carbonadas activas pueden absorber el oro contenido en las soluciones de cianuro. El carbón es preparado del carbón vegetal duro.
- Los procesos de extracción del oro también se realizan cuando el oro está asociado al sulfuro, se tiene a la flotación, fusión y refinación, proceso fisicoquímico basado en la concentración de minerales molidos, es el más eficaz y más usado, entre la “flotación colectiva” (separación de minerales distintos, como los sulfurados y no sulfurados) y la flotación diferencial (separación de tipos similares de mineral, como la separación de sulfuros de Cobre, Plomo y Zinc).
- Las nuevas tendencias, o nuevos métodos sustitutivos son la amalgación del mineral, que consiste en concentrar la parte del mineral que contiene oro antes de añadir el mercurio, triturándolo para obtener partículas más pequeñas. La gravimetría para capturar más oro y usar

menos mercurio. La separación magnética es otro nuevo método, donde la tecnología permite recuperar el oro sin emplear mercurio, consiste en la separación magnética de los minerales de poco valor y reducción significativa del peso del producto que contiene el oro, para trasladarlo y obtener oro semirefinado o refinado, este método requiere altas intensidades de campo, imanes de neodimio usados en el orden de 13000 gauss.

4.3. Recomendaciones

- Se recomienda principalmente evocar estas nuevas tecnologías a la minería informal, ya que es la que tiene menores regulaciones y menor control.
- Es importante también saber diferenciar entre la minería informal y la minería ilegal.
- Los nuevos métodos encontrados son muy importantes para la extracción del mineral sin un impacto mayor en la salud de la población, por lo que se recomienda investigar más a fondo su incidencia en la salud.
- Es recomendable estar en investigación constante acerca de las nuevas tecnologías de la extracción del mineral.
- Se recomienda también para futuras investigaciones orientar una tesis o tesina exclusivamente a los impactos medioambientales y a la salud por la extracción de oro por métodos tradicionales.
- Es muy importante que los nuevos métodos como la amalgamación, gravimetría, separación magnética se apliquen de acuerdo a los recursos y a los medios de los extractores artesanales.

ANEXOS

ANEXO 1

Cronograma para la ejecución de la tesis

Tabla 81: Diagrama de Gantt

SEMANA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ACTIVIDADES																								
Búsqueda bibliográfica	X	X	X	X																				
Revisión 1					X	X	X																	
Análisis de la Información								X	X	X	X	X												
Revisión 2													X	X	X									
Propuestas de nuevas M y T.																X	X	X	X	X				
Revisión 3																					X	X	X	
Sustentación																								X

Nota: Elaboración propia, actualizada al 2018

ANEXO 2

Presupuesto

Tabla 92: Presupuesto

ACTIVIDADES	Presupuesto
Búsqueda bibliográfica	S/.200
Revisión 1	S/.2
Análisis de la Información	S/.100
Revisión 2	S/.2
Propuestas de nuevas M y T.	S/.100
Revisión 3	S/.2
Revisión y Sustentación	S/.200
Total	S/.606

Nota: Elaboración propia, actualizada al 2018

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS/ 2004

- Acosta, J., Santisteban, A., Huanacuni, N., & Valencia, M. (2015). ¿Dónde se encuentra el oro en el Perú? *Ingenmet*, 2.
- Chira Fernández, J. E., Ríos Moreno, C., Trelles Vásquez, G., & Villarreal Jaramillo, E. (Mayo de 2018). Estimación del potencial minero metálico del Perú y su contribución económica al Estado, acumulado al 2050. (M. y. Instituto Geológico, Ed.) Lima, Lima, Perú.
- Costa, M., Pura, A., & Palacios, S. (2009). Proceso de tratamiento para la recuperación de oro en el asentamiento minero artesanal de Misky. *SEGUNDO CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE GEOLOGIA Y MINERIA EN LA ORDENACIÓN DEL TERRITORIO Y EN EL DESARROLLO* (pág. 12). Lima: UPC.
- EL PERUANO. (2017). DISPOSICIONES REGLAMENTARIAS PARA EL INSTRUMENTO DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA LA FORMALIZACIÓN DE ACTIVIDADES DE PEQUEÑA MINERÍA Y MINERÍA ARTESANAL. Lima. Recuperado el 17 de 12 de 2018, de <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/establecen-disposiciones-reglamentarias-para-el-instrumento-decreto-supremo-n-038-2017-em-1582474-3/>
- Estudios mineros del Perú. (2016). *Manual de la minería*. Lima.
- Minería ilegal. (02 de Octubre de 2018). *Ministerio del medio ambiente*. Obtenido de http://www.minam.gob.pe/prensa/wp-content/uploads/sites/44/2013/12/dialogo-con-la-prensa-2_Minereia_ilegal.pdf
- Ministerio de Energía y Minas. (2017). *Anuario minero 2017*. Lima.
- Munive, A., & Palomino, D. (2009). RECUPERACIÓN DEL ORO A PARTIR DE CARBÓN ACTIVADO CARGADO EMPLEANDO SOLUCIONES HIDROALCOHÓLICAS EN LA PLANTA DE CIANURACIÓN DE LAYTARUMA. Huancayo, Perú.
- Navarro Choque, M. (2017). Estudio de recuperación de oro aluvial en concentrador Falcón en la Cooperativa Minera Limata Ananea - Puno. Tacna.
- NO A LA MINA. (2006). La minería a cielo abierto y sus impactos ambientales.
- OSINERMINING. (2007). Panorama de la minería en el Perú. Lima. Recuperado el 15 de Octubre de 2018, de http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Libro_Panorama_de_la_Mineria_en_el_Peru.pdf
- Osinermining. (2017). *La Minería en el Perú*. Lima: Osinermining.
- PNUMA. (16 de Febrero de 2018). El uso del mercurio en la minería de oro artesanal y en pequeña escala.
- SNMPE. (2018). En enero registra valor de exportación de oro por US\$ 694 MILLONES. *SNMPE*.
- Torres Cuzcano, V. (2015). *Minería informal e ilegal en el Perú: impacto socioeconómico*. Lima: Acción solidaria para el desarrollo.

Veiga, M., Maxon, P., & Hylander, L. (2006). Origin and consumption of mercury in small scale gold mining. Journal of cleaner production. *Journal of Cleaner Production*, 436-447.

Villachica León, C., Llamosas Bueno, J., & Villachica Llamosas, L. (2004). Oro ecológico, tecnología para la obtención de oro sin mercurio en la minería de pequeña escala.

Yanacocha. (2018). *Yanacocha.com*. Recuperado el 2018 de Octubre de 02, de <http://www.yanacocha.com/proceso-de-produccion/>